

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**ANDRESSA FRADE PACHECO**  
**GABRIELLE CRISTINE DO VALE MONTEIRO**

**ESTUDO MECÂNICO DO TELESSENSOR DE BURACOS**  
**NEGROS MARIO SCHENBERG**

**Taubaté - SP**

**2018**

**ANDRESSA FRADE PACHECO  
GABRIELLE CRISTINE DO VALE MONTEIRO**

**ESTUDO MECÂNICO DO TELESSENSOR DE  
BURACOS NEGROS MARIO SCHENBERG**

Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Certificado de Graduação do  
curso de **Engenharia Mecânica** do  
Departamento de Engenharia Mecânica  
da Universidade de Taubaté.

Orientador(a): Prof. Espeta Thomaz  
Barone Junior

**Taubaté – SP  
2018**

**SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

M775e Monteiro, Gabrielle Cristine do Vale  
Estudo mecânico do telessensor de buracos negros Mario Schenberg /  
Gabrielle Cristine do Vale Monteiro; Andressa Frade Pacheco. -- 2018.  
26 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de  
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

Orientação: Prof. Thomaz Barone Junior, Departamento de Engenharia  
Mecânica.

1. Buracos negros. 2. Detecção. 3. Ondas gravitacionais.  
4. Telessensor. I. Título. II. Pacheco, Andressa Frade. III. Graduação em  
Engenharia Mecânica.

CDD – 621.3

**ANDRESSA FRADE PACHECO  
GABRIELLE CRISTINE DO VALE MONTEIRO**

**ESTUDO MECÂNICO DO TELESSENSOR DE  
BURACOS NEGROS MARIO SCHENBERG**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



---

Prof. Msc. Fábio Santejani  
Coordenador de Trabalho de Graduação

**BANCA EXAMINADORA:**



---

Prof. Espcta Thomaz Barone Junior  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Msc. Ivair Alves dos Santos  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

26 de Novembro de 2018

Dedicamos este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em nossas vidas, autor do nosso destino, nosso guia, socorro presente na hora da angústia, aos pais Leonildo, Adriana e Marly, à irmã Ana Beatriz, aos namorados Renan e Heitor, e aos nossos amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradecemos a Deus, fonte da vida e da graça. Agradecemos pelas nossas vidas, nossa inteligência, nossa família, nossos amigos e aos nossos namorados, Renan e Heitor.

Ao nosso orientador, Prof. Espcta Thomaz Barone Junior por todo o incentivo e motivação na orientação deste trabalho.

Aos nossos pais Leonildo, Adriana e Marly, que de forma especial, apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram nossos estudos e nos ajudaram quando mais precisamos, pelo apoio e pelo amor incondicional.

Aos nossos namorados, Renan e Heitor, por toda compreensão, carinho e amor, que nos deu força e coragem para prosseguir, nos apoiando em momentos mais difíceis.

Ao Professor Msc. Ivair Alves dos Santos por toda a ajuda prestada e por aceitar compor a banca examinadora.

E a todos que direta e indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigada.

## RESUMO

O estudo de ondas gravitacionais emitidas por singularidades é uma das mais novas descobertas no campo da astrofísica. O presente trabalho busca descrever, a partir de dados bibliográficos, o funcionamento de uma das antenas de detecção de tais ondas, o Detector Mario Schenberg, uma antena esferoidal localizada no campus da Universidade de São Paulo, capaz de sensibilizar-se com as flutuações no tecido espaço-tempo ocasionadas pelas ondas emitidas.

Para tanto o trabalho inicia com uma discussão acerca da singularidade capaz de causar uma onda gravitacional, discutindo sua estrutura mais elementar para enfim abordar, utilizando-se da bibliografia corrente, o funcionamento da antena. Discute-se a estrutura da antena, suas partes fundamentais, bem como seu funcionamento e a detecção em si.

A partir dessa descrição o trabalho utiliza-se do conceito de metodologia exploratória para encerrar uma discussão descritiva bem como extrair da revisão bibliográfica os conceitos e fundamentos do funcionamento da antena enfim atingindo o objetivo de descrever o mecanismo do Telessensor.

**Palavras-chave:** Ondas gravitacionais. Telessensor. Detecção. Buracos negros.

## **ABSTRACT**

The study of gravitational waves emitted by singularities is one of the newest discoveries in the field of astrophysics. The present work tries to describe, from bibliographic data, the operation of one of the antennas of detection of such waves, the Detector Mario Schenberg, a spheroidal antenna located in the campus of the University of São Paulo, able to be sensitized with the fluctuations in the space-time fabric caused by the waves emitted.

For this, the work begins with a discussion about the singularity capable of causing a gravitational wave, discussing its most basic structure to finally address, using the current bibliography, the operation of the antenna. It discusses the structure of the antenna, its fundamental parts, as well as its operation and the detection itself.

From this description the work uses the concept of exploratory methodology to conclude a descriptive discussion as well as to extract from the bibliographic review the concepts and fundamentals of the antenna's functioning finally reaching the objective of describing the mechanism of the Telessensor.

**Keywords:** Gravitational waves. Telessensor. Detection. Black holes.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1 - O DETECTOR DE ONDAS GRAVITACIONAIS, MARIO SCHENBERG .....        | 14 |
| FIGURA 2 - A ESFERA COM AS CINCO MASSAS RESSONANTES.....                    | 15 |
| FIGURA 3 - FOTO REAL DA ESFERA COM AS CINCO MASSAS RESSONANTES .....        | 15 |
| FIGURA 4 - ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DO GERADOR DE SINAIS GRAVITACIONAIS ..... | 17 |
| FIGURA 5 - ESBOÇO PRÉVIO DO DISPOSITIVO DE CALIBRAÇÃO .....                 | 19 |

## SUMÁRIO

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | INTRODUÇÃO .....   | 9  |
| 1.1 | OBJETIVO GERAL .....   | 10 |
| 1.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 10 |
| 1.3 | ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....  | 10 |
| 2   | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....  | 12 |
| 2.1 | O DETECTOR NACIONAL DE ONDAS GRAVITACIONAIS MARIO<br>SCHENBERG ..... | 12 |
| 2.2 | CARACTERÍSTICAS .....  | 12 |
| 2.3 | A ESFERA E AS MASSAS DE FILTRAGEM .....                              | 14 |
| 2.4 | O TRANSDUTOR PARAMÉTRICO .....                                       | 16 |
| 2.5 | AS DETECÇÕES .....   | 17 |
| 2.6 | O CALIBRADOR .....   | 17 |
| 3   | METODOLOGIA .....  | 20 |
| 3.1 | CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE PESQUISA .....                          | 20 |
| 3.2 | DE ACORDO COM O OBJETIVO .....                                       | 20 |
| 3.3 | DE ACORDO COM OS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS .....                        | 21 |
| 3.4 | METODOLOGIA APLICADA .....   | 21 |
| 4   | RESULTADOS E DISCUSSÕES .....  | 22 |
| 5   | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 23 |
|     | REFERÊNCIAS .....  | 24 |

## 1 INTRODUÇÃO

Buracos negros são estruturas cósmicas extremamente misteriosas e atraentes que todos os dias chamam mais atenção do público leigo. Milhares de cientistas ao redor do mundo têm-se pronunciado acerca do assunto, mas as novidades não param de surgir. O buraco negro forma-se a partir da morte de uma estrela supermassiva, com um limite superior ao limite de Chandresenkar, quando essa estrela esgota todo o seu combustível, ela começa a consumir a si própria causando uma implosão, por conta da sua gravidade, que a partir de então estará concentrada em um único ponto, que passa a ser denominado singularidade. Um buraco negro é conhecido por ser uma região do espaço da qual nenhuma informação consegue escapar, nem mesmo a luz, ou seja, embora não possamos afirmar que a física funcione dentro de um buraco negro, também não podemos afirmar o contrário, a ausência de informação faz com que isso seja uma incógnita, o que sabemos é que dentro do horizonte de eventos da singularidade as situações são extremas, causadas pela altíssima densidade da singularidade central. Apesar de serem invisíveis aos nossos olhos, eles podem ser detectados via ondas gravitacionais quando extremamente densos, embora no geral sejam detectados por observação gravitacional indireta ou em alguns casos por Radiação Hawking. As ondas gravitacionais (ondulações na curvatura do espaço-tempo que se propagam como ondas, viajando pelo vácuo na velocidade da luz para o exterior a partir da sua fonte) são a forma mais moderna de detecção, ou seja, tais ondas são ocasionadas por deformações do espaço-tempo de tal forma que, com antenas altamente sensíveis ou interferômetros é possível detectá-las. Essas detecções são feitas a partir de dispositivos de diferentes formas de funcionamento.

Nos Estados Unidos existe o observatório de ondas gravitacionais por interferometria de laser ou LIGO. Um interferômetro é um dispositivo que compara dois feixes de luz laser de direções diferentes e a partir das franjas de interferência por eles ocasionadas são capazes de determinar oscilações mínimas no espaço entre os feixes através destes padrões de interferência. Além do LIGO existem outros instrumentos para detecção de ondas gravitacionais, como o Virgo, situado na Itália e que tem parceria com o interferômetro norte americano. No Brasil, também são feitas detecções de ondas gravitacionais por um telessensor esférico

(antena esférica), conhecido como Mario Schenberg, mostrado na Figura 1, que servirá ao estudo da emissão de ondas gravitacionais por fontes astrofísicas - buracos negros e estrelas de nêutrons. No universo, parte das ondas eletromagnéticas produzidas não conseguem chegar até nós por conta da matéria existente do espaço ou os intensos campos de força, impedindo que essas ondas percorra o espaço até chegarem à Terra, porém as ondas gravitacionais, por sua natureza intrínseca relacionada ao tecido espaço-tempo, percorrem o espaço sem serem absorvidas. Portanto, as detecções de ondas gravitacionais abrem perspectivas muito importantes para o estudo do Universo, fenômenos que, até o presente momento, não são possíveis de serem detectados por ondas eletromagnéticas, poderão ser observados por ondas gravitacionais.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho versará sobre o estudo da parte mecânica do telessensor Mario Schenberg, abordando suas características e funcionamento, possibilitando conhecimento de ondas gravitacionais, principalmente.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo específico deste trabalho consiste em obter informações sobre o alinhamento e a regulagem da antena (esfera), do telessensor Mario Schenberg, bem como os materiais utilizados na sua composição.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho é composto por capítulos e subcapítulos. No capítulo 1, foi introduzida a ideia do trabalho, explicando o que será estudado, juntamente com os objetivos e a estrutura do trabalho adotada.

O capítulo 2 apresenta informações gerais sobre o telessensor, entre elas sua história, suas características, sua composição, como são feitas as detecções e sua calibração.

No capítulo 3, é indicada a metodologia utilizada na constituição deste trabalho, expondo como foi feita a coleta das informações apresentadas nos capítulos e como foi conduzida a pesquisa feita sobre o telessensor.

O capítulo 4 apresenta as considerações finais, conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo abordará a utilização do telessensor Mario Schenberg, descrevendo suas partes mecânicas, baseando-se em informações apresentadas em sites especializados como o do INPE e outros, em teses de doutorado, como a do Dr. Sérgio Turano de Souza e em bibliografia especializada.

### 2.1 O DETECTOR NACIONAL DE ONDAS GRAVITACIONAIS MARIO SCHENBERG

Segundo o INPE (2018), o primeiro experimento realizado com ondas gravitacionais no Brasil ocorreu em setembro de 2006 no Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP), em São Paulo, juntamente com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O detector de ondas gravitacionais Mario Schenberg permite o estudo de fenômenos astrofísicos, que não são observados através de outras ondas ou partículas. O ponto é que esses estudos podem nos levar a compreender melhor a origem e evolução do Universo, bem como de estruturas que o compõem.

A construção do detector de ondas gravitacionais Mario Schenberg fez crescer o conhecimento tecnológico nas áreas de criogenia, vácuo, transdutores a baixo ruído, supercondutividade e isolamento vibracional, entre outras áreas da física. A contribuição que o detector Mario Schenberg dá é na determinação de onde essas ondas vêm e no formato dessas ondas no espaço, que explica muito sobre sua fonte emissora.

### 2.2 CARACTERÍSTICAS

Segundo DE SOUZA (2012), o telessensor Mario Schenberg consiste em um aparato cujo principal componente é uma esfera de cobre-alumínio de mais de uma tonelada, resfriada, por hélio líquido, a poucos centésimos de acima do zero absoluto. Nessa temperatura, há uma redução a quase zero de toda a agitação atômica, possibilitando que as fraquíssimas ondas gravitacionais sejam observadas sem interferência de ruídos térmicos. O telessensor também consiste de um

conjunto de transdutores paramétricos, mais especificamente nove transdutores, que monitoram as vibrações causadas pelas ondas gravitacionais. Quando acoplado à antena, o sistema transdutor-esfera funciona como um sistema massa-mola (um modelo utilizado na física para estudo das oscilações de partículas).

Segundo DE SOUZA (2012), o telessensor possui um vaso que tem a capacidade de produzir baixas temperaturas, esse vaso é chamado de vaso criogênico. Esse vaso é uma das partes mais importantes do projeto, pois ele ajuda o sistema de isolamento vibracional da esfera. Em boa parte do vaso criogênico, está presente o alumínio e plástico, e ele possui um diâmetro externo de 1 metro e altura de 3 metros, divididas em duas partes iguais. A parte superior do criostato contém um reservatório de hélio líquido com capacidade de 340 litros e um reservatório de nitrogênio líquido com capacidade de 205 litros, e todas as conexões do vaso estão na parte superior. O Criostato compõe-se de duas câmaras de vácuo, uma externa e uma interna. A externa tem seu funcionamento baseado no isolamento entre o meio ambiente, o espaço interno e entre os reservatórios de nitrogênio e hélio líquidos. Já a câmara interna tem a função de promover vácuo para a esfera e o sistema de isolamento vibracional.

Segundo DE SOUZA (2012), o detector está localizado em uma das salas do Edifício Mario Schenberg do Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Para a instalação da antena, foi construído um fosso, a fim de dispor a estrutura de suporte, que rebaixa o piso em 1,8 metros e um sistema hidráulico que pode elevar em 2 metros a base de concreto de 4 toneladas, onde está sustentado o caso de criogenia, a esfera, as massas ressonantes e todo o restante do detector, pesando aproximadamente um total de 6,5 toneladas.

O detector destaca dos demais por ser esférico, ou seja, as ondas gravitacionais são detectadas pela antena do aparelho (uma grande esfera metálica de mais de uma tonelada, composta de cobre com 6% de alumínio).

**Figura 1 - O detector de ondas gravitacionais, Mario Schenberg**



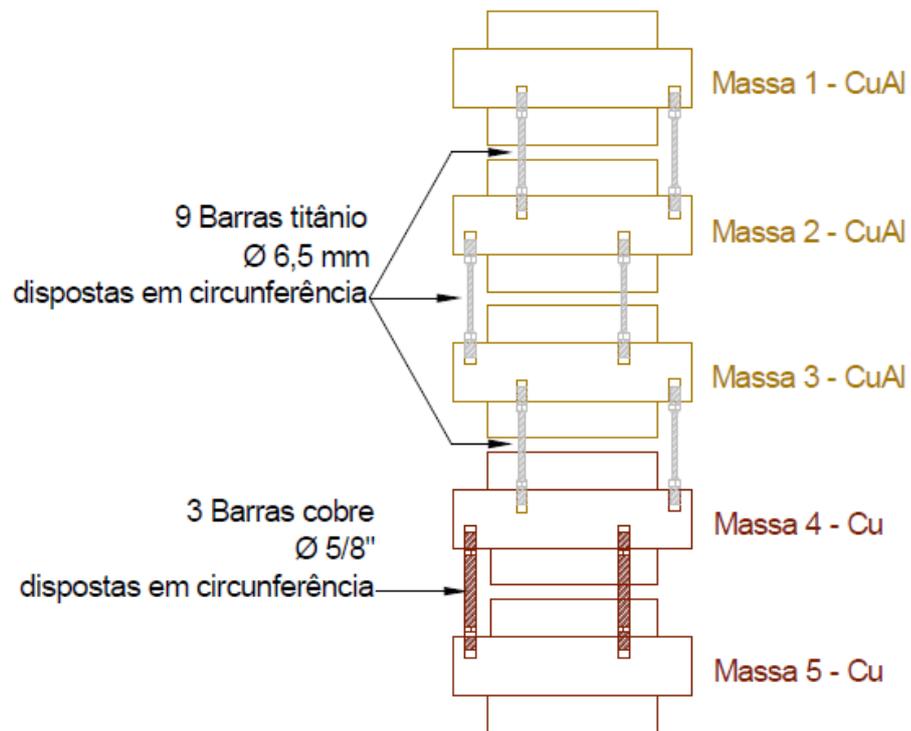
*Detector de ondas gravitacionais, denominado Mario Schenberg, no INPE, conta com uma massa esférica de uma tonelada. Quando a onda gravitacional passa por esta esfera, ela ressoa e os sinais são captados por transdutores.*

**Fonte: INPE**

### 2.3 A ESFERA E AS MASSAS DE FILTRAGEM

Segundo DE SOUZA (2012), a esfera detém de um diâmetro de 650 milímetros e foi fabricada com uma liga de cobre com 6% de alumínio. Ela é elevada por uma haste presa a um sistema de isolamento vibracional. Esse sistema possui 5 massas, sendo 2 de cobre e 3 de cobre-alumínio 16%, conforme mostrado na Figura 2 e Figura 3, e cada uma pesa 120kg. Através do ruído térmico, é possível detectar facilmente vibrações de ondas gravitacionais que passarem pela esfera, por esse motivo é necessário o esfriamento da esfera pelo vaso criogênico, pois a esfera é muito sensível e qualquer alteração térmica influenciará na detecção. Vibrações de ondas gravitacionais também são facilmente mascaradas por ruídos acústicos e mecânicos. Para que a esfera não sofra interferência de ruídos vindo do ambiente do laboratório, ela é colocada na câmara de vácuo, como dito anteriormente. Sobre o ruído mecânico, o maior desafio é reduzi-lo, pois o solo causa vibrações, causado por qualquer movimento nele, como veículos ou uma pessoa andando perto da antena e, principalmente, pelo ruído sísmico. Sendo assim, a suspensão da esfera tem a função de amenizar esse problema causado pela vibração do solo. A suspensão da esfera incorpora um sistema de filtros mecânicos constituídos basicamente por uma sucessão de conjuntos massa-mola que se constituem em um filtro passa-baixa.

Figura 2 - A esfera com as cinco massas ressonantes



Fonte: Google

Figura 3 - Foto real da esfera com as cinco massas ressonantes



Fonte: Tese do Dr. Sérgio Turano de Souza

## 2.4 O TRANSDUTOR PARAMÉTRICO

Conforme descrito no trabalho DE SOUZA (2012), o transdutor é um dispositivo que tem a função de transformar energia mecânica em energia elétrica, ou seja, ele transforma qualquer vibração mecânica em sinal elétrico que se possa detectar. No detector Mario Schenberg foi empregado um transdutor do tipo paramétrico. Esse tipo de transdutor, o paramétrico, relaciona uma variável mecânica com uma elétrica, não linearmente, através da variação de um parâmetro do circuito. No processo de transdução, acontece um acréscimo de potência, pois os dados da variação mecânica é transduzida da frequência da antena para a frequência do oscilador. O detector possui de 6 a 9 transdutores fixados na superfície da esfera e as suas respectivas eletrônicas de amplificação, demodulação e digitalização, que irão operar de forma independente. Para evitar que a esfera sofra alteração com os ruídos sísmicos através do cabeamento dos transdutores, os transdutores são conectados com suas respectivas eletrônicas, que são os sinais portadores e responsáveis pela amplificação do sinal modulado, e essa conexão é feita por pares de antenas de microfita, uma para cada transdutor, que precisam estar com a menor perda na região da frequência de ressonância da cavidade possível e uma melhor transmissão imaginável. Resumindo o funcionamento da transdução entre a conexão da antena de microfita com o transdutor, é produzido um sinal entre 10 e 10,5 GHz por um oscilador de baixo ruído de fase. Esse sinal entra no vaso de criogenia por uma passagem e por cabos de aço inox, chegam até a fria região do criostato e é enviado para a cavidade restante do transdutor através do par de antenas de microfita.

As vibrações na esfera, provocadas pelas ondas gravitacionais, modulam a frequência ressonante do transdutor, o qual, por sua vez, modula o sinal do oscilador, produzindo bandas laterais (que transportam a informação). As bandas laterais e o sinal da portadora (oscilador) retornam. Este sinal é analisado, em busca da presença de ondas gravitacionais. (DE SOUZA, 2012).

A partir dos dados referidos é possível estimar o funcionamento do detector, discutindo a estrutura mecânica por trás das partes estruturais.

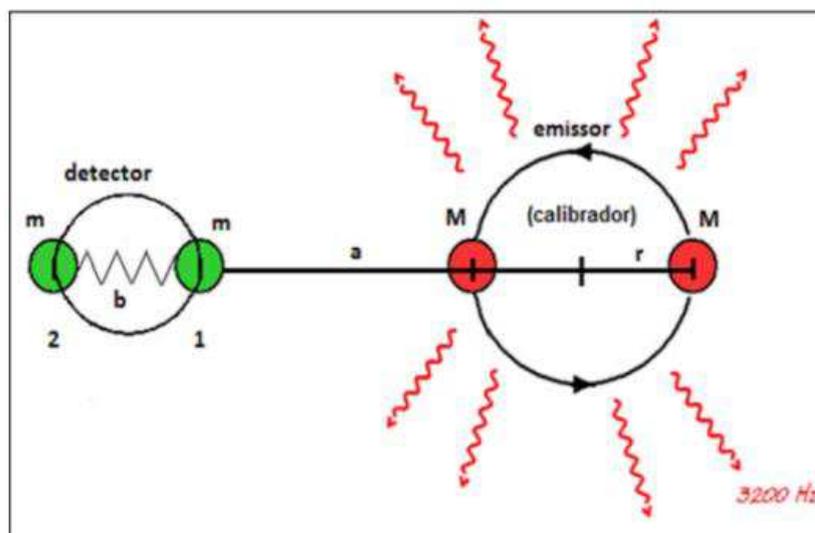
## 2.5 AS DETECÇÕES

Segundo De Souza (2012), quando as vibrações de uma onda gravitacional atinge uma massa ressonante, ela transfere energia para a mesma. Essa energia desperta os modos fundamentais, que são as frequências geradas pela variação da massa ressonante. Os deslocamentos encontrados nas massas é a medida da onda. Essas oscilações são convertidas em sinais elétricos pelos transdutores paramétricos, citados acima, e são enviadas para um sistema, onde são encontrados os dados. O objetivo da detecção é obter não apenas a amplitude da onda gravitacional, mas também a direção da onda e o seu formato no espaço.

## 2.6 O CALIBRADOR

Segundo ANDRADE (2006); PADOVANI (2012); RUIZ (2014) e SANTOS (2013), para realizar a calibração do detector Mario Schenberg é preciso de um calibrador que gere um sinal gravitacional de maré periódico em 3,2 KHz de frequência. Para tanto, é necessário que a rotação ocorra apresentando objetos de maior massa e maior raio possível, rotacionando simetricamente a 96000 rpm e uma frequência de 1,6 KHz. A Figura 4 apresenta um esquema básico desse dispositivo.

**Figura 4 - Ilustração esquemática do gerador de sinais gravitacionais**

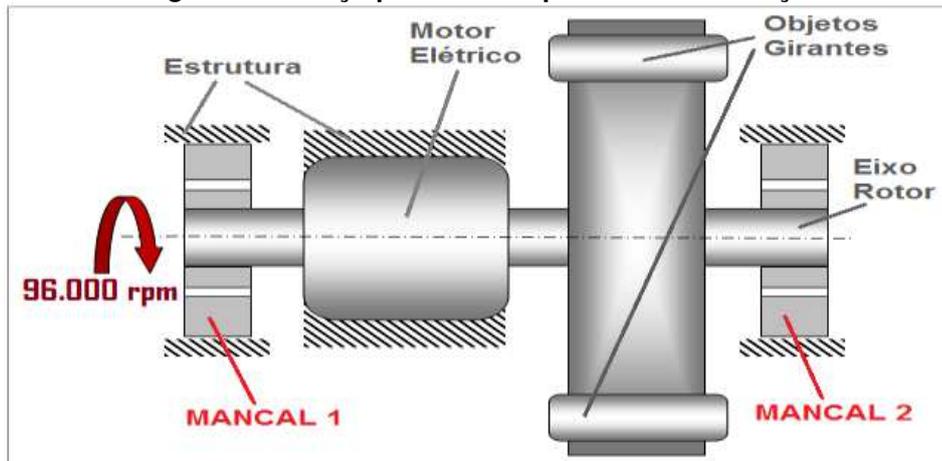


Fonte: Adaptado de Padovani (2012).

O dispositivo de calibração, conforme Figura 5, enfrenta alguns problemas. Segundo Choi (2015), as perdas mecânicas, elétricas e magnéticas são um dos vários problemas encontrados nesses dispositivos de calibração. Devido à frequência de sua rotação, os dispositivos de calibração apresenta uma variação centrífuga em seus dados que precisa ser compensada, uma vez que, devido à sua ação apresenta tensões que influenciam nas medições dadas a grande sensibilidade dessas. O aquecimento também é um problema detectado no calibrador, ele é causado pela alta rotação. Os circuitos eletrônicos sofrem com limitações de potência e existem questões difíceis de resolverem envolvendo a dinâmica dos rotores e vibrações. Para a solução de todos esses problemas de projeto e fabricação do dispositivo de calibração, faz-se necessário o envolvimento de profissionais de várias áreas da Engenharia.

Segundo Junior, Frajuca e Horikawa (2015), para a construção do calibrador, foram necessários estudos sobre diversos assuntos, a fim de vencer alguns desafios. Foram estudados, a estrutura de proteção, a escolha dos mancais, a escolha do rotor, juntamente com sua dinâmica e o sistema de acionamento. Começando com a estrutura de proteção, que é uma câmara de vácuo blindada com materiais balísticos, possui as funções de proteger o dispositivo de riscos causados por altas velocidades de rotação e extinguir a resistência aerodinâmica. A escolha dos mancais, que resultou no modelo magnético passivo híbrido de ímãs permanentes, que foi desenvolvido no trabalho do Pavani (2014). Na escolha do rotor, que precisa suportar uma elevada força centrífuga, causada pelas altas rotações, foi proposto um sistema de acionamento com fibra de carbono dos objetos que participam da rotação, que são suportados por uma estrutura em forma de disco feita de um compósito de fibra de carbono em resina epoxídica. Ainda sobre o rotor, os estudos indicaram que algumas diretrizes são necessárias para evitar ou diminuir as vibrações que causam instabilidade no rotor e que constantemente prejudicam o atingimento de altas velocidades. Para finalizar os estudos sobre o calibrador, foi proposto um acionamento diretamente do rotor com um motor de relutância varável, controlado por um sistema eletrônico e algoritmo de controle avançados.

Figura 5 - Esboço prévio do dispositivo de calibração



Fonte: artigo feito por Junior, Frajuca e Horikawa (2015)

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE PESQUISA

Segundo Gil (1991), a pesquisa pode ser dividida em pesquisa básica e pesquisa aplicada. A pesquisa básica gera novos conhecimentos científicos sem a exigência de uma aplicação prática imediata. Já a pesquisa aplicada é o oposto da pesquisa básica, pois ela procura gerar novos conhecimentos científicos com soluções práticas para solucionar problemas específicos.

Este trabalho explora informações sobre a parte mecânica do telessensor de buracos negros Mario Schenberg, seu alinhamento e regulagem da antena (esfera), bem como os materiais utilizados na sua composição, introduzindo alguns conceitos básicos de pesquisa. A construção deste trabalho foi baseada nas publicações de sites especializados como o do INPE entre outros, em teses de doutorado, como a do professor Dr. Claudemir Stellati sobre ondas gravitacionais, na tese do Dr. Sérgio Turano de Souza e em bibliografia especializada.

#### 3.2 DE ACORDO COM O OBJETIVO

De acordo com os objetivos, os estudos desse trabalho podem ser divididos em pesquisa de exploração e pesquisa de descrição.

Segundo Gil (1991), as pesquisas de exploração promove uma imediação com o tema e os problemas nele envolvido, tornando-os decifráveis, sendo eles construídos baseando-se em suposições e intuições envolvendo investigações bibliográficas, citações, além de entrevistas com pessoas que são especialistas no assunto. Estudos bibliográficos e estudos de caso são muito utilizados em pesquisas de exploração, pois recorrem muito à intuição do pesquisado. Já a pesquisa de descrição tem como objetivo principal descrever precisamente o objeto de estudo, efetuando a coleta de informações qualitativas, mas principalmente quantitativas.

Neste trabalho foram feitas pesquisas exploratórias, que estimulam uma proximidade com o assunto, sendo elas construídas baseando-se em investigações bibliográficas e citações. A pesquisa visa a realização de um estudo sobre o

alinhamento e regulagem da antena (esfera) do Telessensor Mario Schenberg, bem como os materiais utilizados na sua composição.

### 3.3 DE ACORDO COM OS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Segundo Gil (1991), os procedimentos técnicos são classificados em investigação Bibliográfica, que é feita a partir de materiais já prontos e estudados, que são principalmente os livros e pesquisas científicas de outros autores, como a tese do Dr. Sérgio Turano de Souza e do professor Dr. Claudemir Stellati, estudo de documentos com tema próximo ao da bibliografia, que ainda não foram analisados e estudados e por fim a investigação Experimental, que consiste em estabelecer a análise dos resultados e conclusões apresentados pela pesquisa.

### 3.4 METODOLOGIA APLICADA

A metodologia aplicada no trabalho de graduação em referência foi a pesquisa de descrição, retratando o objeto de estudo, o telessensor Mario Schenberg, coletando informações sobre sua estrutura mecânica a partir de livros, teses, bem como bibliografias especializadas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho, foram obtidas informações sobre a antena do detector Mario Schenberg, como sua composição e seu funcionamento, assim como é feita sua calibração.

Segundo Furtado (2009), De Souza (2012) e Costa (2006), a antena é composta por uma massa ressonante esférica de CuAl (6%) com 65 cm de diâmetro, na faixa de frequência de  $3200 \pm 200\text{Hz}$ , com aproximadamente 1150 kg, que deverá atingir a sensibilidade  $h \sim 10^{-22}$  em uma banda passante de 50 Hz, para pulsos de milissegundos, numa faixa de frequência de  $3200 \pm 200\text{Hz}$ , quando estiver operando a temperaturas da ordem de 0,05 K. O detector tem toda infraestrutura criogênica voltada para resfriamentos a 4 K e toda a suspensão da esfera, bem como todo o sistema de filtragem mecânica construídos e montados. O sistema é suspenso por um sistema de isolamento vibracional, capaz de atenuar vibrações externas em cerca de 300 dB. O instrumento será mantido a temperaturas ultra-baixas (1 mK) por câmaras criogênicas, resfriadas por diluição.

Como já descrito na revisão bibliográfica, segundo Junior, Frajuca e Horikawa (2015), para realizar a calibração do detector Mario Schenberg faz-se necessário um dispositivo externo (calibrador) capaz de gerar um sinal gravitacional de maré periódico na frequência de 3200. Para tal construção do dispositivo é necessário: estrutura de proteção, mancais, projeto do rotor, acionamento e dinâmica do rotor. Esse dispositivo, aqui designado pela sigla DCMS (Dispositivo para Calibração do detector Mario Schenberg), deverá fazer girar simetricamente dois objetos iguais com a maior massa e no maior raio possíveis, numa frequência de 1.600 Hz ou 96.000 rpm.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o estudo realizado, foi possível entender e descrever o funcionamento mecânico de uma antena de captação de ondas gravitacionais, especificamente a calibração da esfera de captação, compreendendo o dispositivo mecânico que opera buscando maior entendimento.

Fez-se entender a engenharia do dispositivo bem como a importância da detecção de ondas gravitacionais, tendo em vista que tais ondas possibilitam uma maior compreensão da nossa origem no universo, bem como a possibilidade de obtenção de informações abrangentes do universo, que no presente momento é muito sucinta, fazendo com que o universo seja uma incógnita.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. A. **Desenvolvimento de Osciladores em 10 GHz de Ultrabaixo Ruído de Fase e Análise de seus Desempenhos nos Transdutores Paramétricos do Detector de Ondas Gravitacionais Mário Schenberg**. São José dos Campos: Tese de Doutorado – INPE, 2006.

CHOI, W.; LI, S.; SARLIOGLU, B. **Core Loss Estimation of High Speed Electric Machines: An Assessment**. Wisconsin Electric Machines and Power Electronics Consortium (WEMPEC), Madison, 2015.

COSTA, C. A. **Simulação da resposta de detector Mario Schenberg a ondas gravitacionais oriundas de fontes astrofísicas**. 127p. (Tese de Doutorado em Astrofísica). São José dos Campos. INPE. 2006.

DE SOUZA, S. T. **O detector de ondas gravitacionais Mario Schenberg: uma antena esférica criogênica com transdutores paramétricos de cavidade fechada**. 109p. (Tese de Doutorado em Ciências). São Paulo. Instituto de Física da Universidade de São Paulo. 2012.

FRAJUÇA, C.; HORIKAWA, O.; JUNIOR, P. F.; **Diretrizes para o projeto do calibrador do detector Mario Schenberg: o sistema de mancais**. 14p. (Artigo). 15p. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. São Paulo. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2015.

FURTADO, S. R. **Desenvolvimento de transdutores paramétricos de alta sensibilidade para o detector de ondas gravitacionais Mario Schenberg**. 378p. (Tese em doutorado em astrofísica). São José dos Campos. INPE. 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3ª edição, São Paulo. Editora Atlas, 1991.

**INPE participa do primeiro detector nacional de ondas gravitacionais**, INPE. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=808](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=808)>. Acesso em: 03 abr. 2018.

PADOVANI, D. M. **Desenvolvimento de um experimento para medir a velocidade da interação gravitacional**. São Paulo: Dissertação de Mestrado, 2012.  
RUIZ, W. **Experimento para medir a velocidade da interação gravitacional utilizando um motor de relutância variável**. São Paulo: Dissertação de Mestrado, IFSP, 2014.

PAVANI, R. A.; HORIKAWA, O. **Compact Magnetic and Sliding Hybrid Bearing for Low Axial Load Applications**. 22nd International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives (MagLev 2014), Rio de Janeiro, v. 1, Set. 2014.

SANTOS, K. A. M. D. **Protótipo de Experimento para medir velocidade de interação gravitacional**. São Paulo: Dissertação de Mestrado - IFSP, 2013.